

The background of the entire page is composed of numerous thin, parallel red lines. These lines are arranged in a series of overlapping, stepped, and zigzag patterns that create a sense of movement and depth. The patterns are more dense in some areas and more sparse in others, framing the central text.

en DIRECT

LE JOURNAL DE LA RECHERCHE ET DU TRANSFERT DE L'ARC JURASSIEN

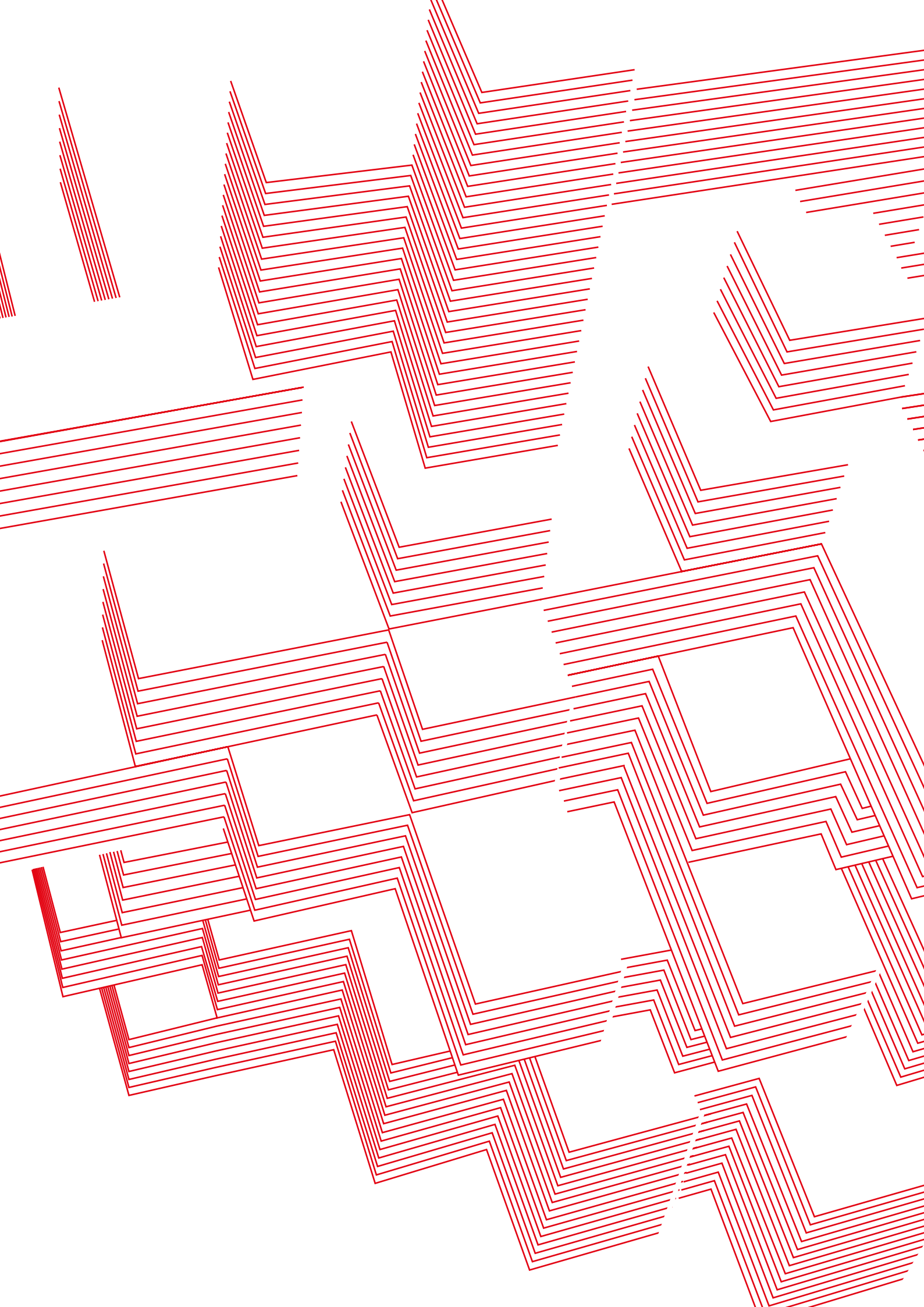
Le dossier //////////////////////////////////////

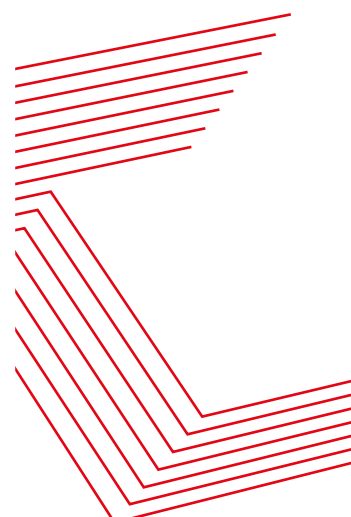
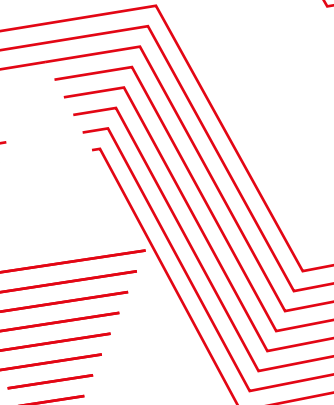
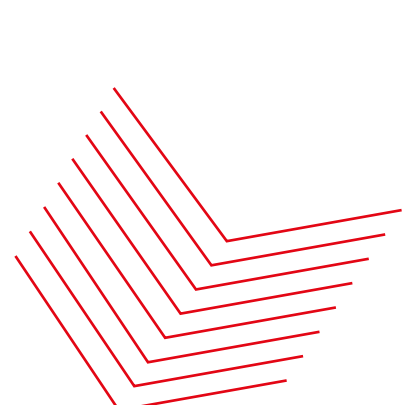
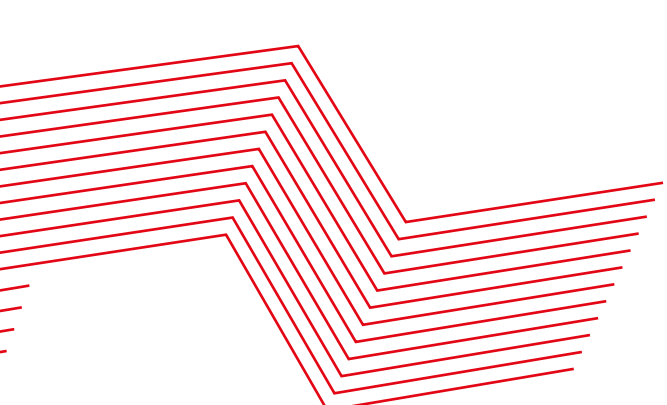
Fabriquer par ajout de matière

////////////////////////////////////

Brevet déposé pour aider le système immunitaire à remplir sa mission
Vers latins et mouches du vinaigre
Lubrifiants innovants et au-dessus de tout soupçon
Un FabLab sur les routes de l'Arc jurassien

NUMÉRO 276 - MAI-JUIN 2018 //////////////////////////////////////





LE SOMMAIRE //////////////////////////////////////

LES ACTUALITÉS ////////////////////////////////////// 4

Brevet déposé pour aider le système immunitaire à remplir sa mission
VERSO Optim simplifie l'organisation dans les entreprises
L'échinococcose à la trace
Vers latins et mouches du vinaigre
La lumière sous les feux de la rampe
VIVO ! Entrez en nature
Learning center en projet à Besançon
La Franche-Comté au 1/250 000°
« Droit pénal français et droit pénal suisse »
« Le patrimoine industriel au prisme de nouveaux défis »

LE TRANSFERT ////////////////////////////////////// 12

Lubrifiants innovants et au-dessus de tout soupçon

COMMUNAUTÉ DU SAVOIR ////////////////////////////////////// 13

Un FabLab sur les routes de l'Arc jurassien

LA FORMATION ////////////////////////////////////// 14

L'engagement social des étudiants internationaux reconnu
à l'université

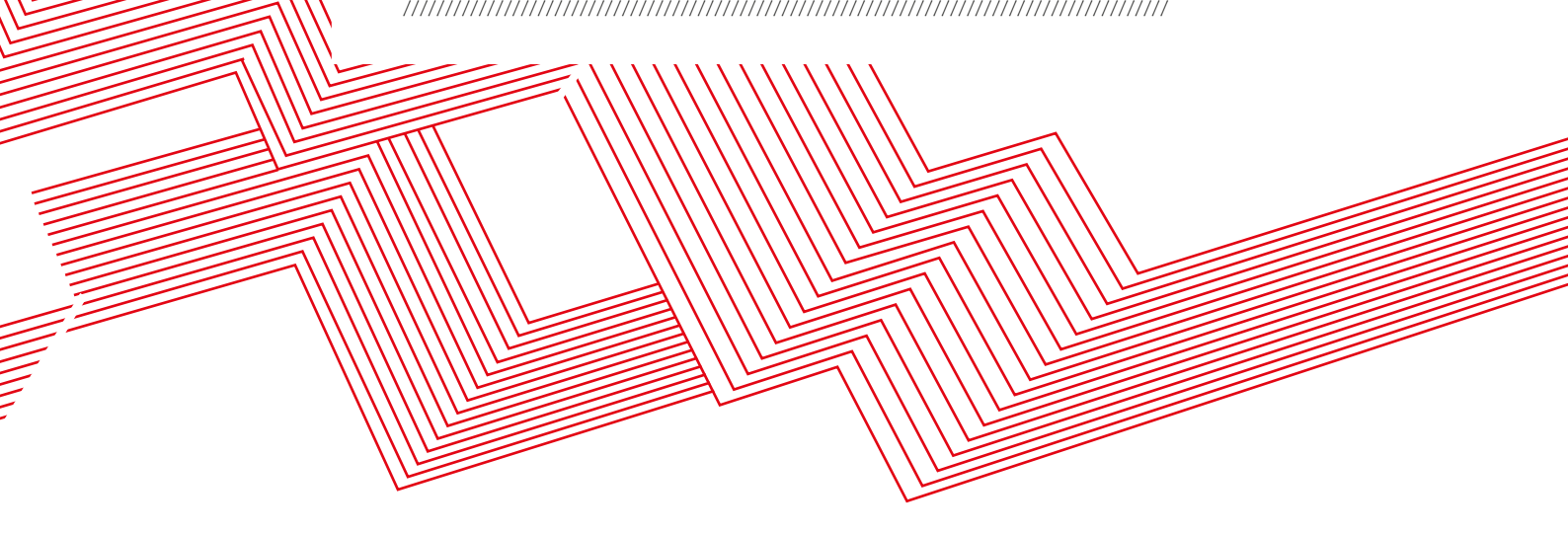
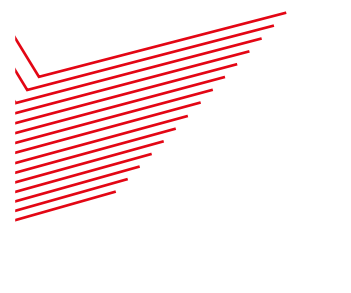
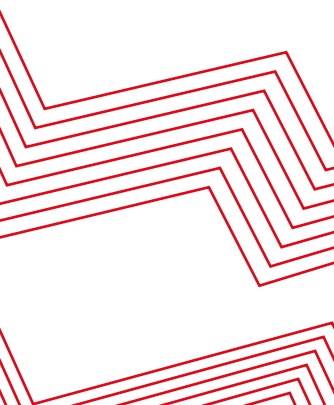
TERRE D'INVENTEURS ////////////////////////////////////// 15

Mai 68 sans frontières

LE DOSSIER ////////////////////////////////////// 16

Fabriquer par ajout de matière

////////////////////////////////////

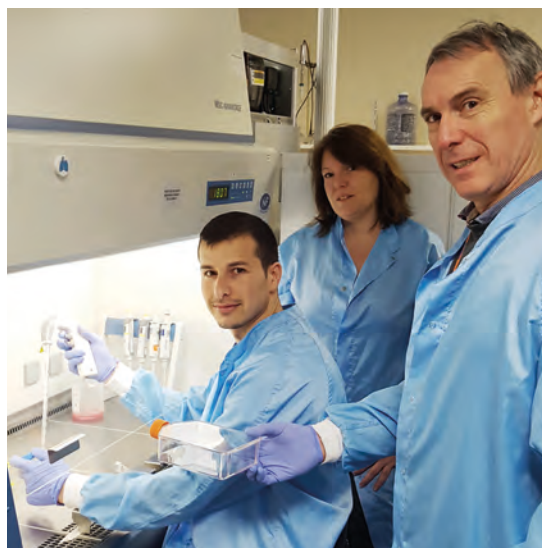


Brevet déposé pour aider le système immunitaire à remplir sa mission

On le sait aujourd'hui, le système immunitaire a la capacité de combattre les cellules cancéreuses autant que les autres cellules qu'il considère étrangères à l'organisme ou dangereuses. Au service de cette lutte, les lymphocytes T sont une arme redoutable, et sont d'autant plus efficaces que leur action est contrôlée et bien dirigée : pour les aider à repérer leurs cibles, à n'en rater aucune tout en évitant les cellules saines, la thérapie cellulaire et génique les dote d'une sorte de GPS qui les guide de manière infaillible, un récepteur CAR, spécifique de la reconnaissance de cellules tumorales. Les lymphocytes T, auxquels on associe un CAR, sont appelés CAR-T-Cells.

Spécialistes de génétique moléculaire, Christophe Ferrand et Marina Deschamps travaillent depuis de nombreuses années au laboratoire Interactions hôte-greffon-tumeur & ingénierie cellulaire et génique à identifier de tels récepteurs et à les « greffer » *in vitro* à des lymphocytes T prélevés au patient. Ces lymphocytes génétiquement modifiés, devenus médicaments de thérapie innovante dans la nouvelle réglementation (MTI), sont réinjectés dans l'organisme du patient pour un traitement personnalisé.

Avec le Dr Fabrice Larosa, hématologue, clinicien référent de la leucémie myéloïde chronique (LMC) et allogreffeur au CHU de Besançon, Christophe Ferrand et Marina Deschamps viennent de déposer un brevet pour la mise au point et la fabrication d'un nouveau CAR : le CAR IL-1RAP, molécule ciblant la protéine associée au récepteur de l'interleukine 1, un marqueur de la cellule souche leucémique LMC, objet de leurs investigations. « Cette molécule est exprimée par les cellules souches leucémiques, mais non par les cellules normales, ce qui garantit l'innocuité du traitement. » Une partie de ces cellules souches présente la particularité de rester en latence dans la moelle osseuse et de proliférer dès lors que leur activité n'est plus contenue par les inhibiteurs aujourd'hui donnés en traitement aux patients atteints de LMC. Les inhibiteurs savent contenir la maladie, en revanche ils ne peuvent la guérir. Les lymphocytes T dotés du CAR IL-1RAP sont, eux, capables de tuer toutes les cellules leucémiques, y compris les cellules « dormantes » présentes dans la moelle osseuse. La preuve en a été faite *in vitro* et des premiers tests sur la souris



Walid Warda, qui a passé sa thèse en janvier sur le projet CAR-T-Cells IL-1RAP, avec Marina Deschamps et Christophe Ferrand

humanisée ont été menés de façon concluante. Le dépôt du brevet devrait permettre de mener d'autres expériences chez l'animal, puis des tests cliniques chez l'homme, en associant des industriels à cette recherche prometteuse.

Aller plus loin dans la recherche

Le MTI qui pourrait naître de ces travaux concerne en premier lieu les patients réfractaires ou intolérants aux inhibiteurs habituellement prescrits ; il pourrait par ailleurs et dans tous les cas relayer ce traitement pour éradiquer la source de la maladie et guérir le patient. Outre la LMC, les chercheurs ont la conviction que le choix de la cible IL-1RAP et la mise au point du CAR permettant de l'identifier se révéleront également pertinents pour le traitement d'autres hémopathies ; ils entendent poursuivre leurs investigations dans ce sens.

Les CAR sont utilisés depuis environ quatre ans en France dans le cadre d'essais cliniques, et font déjà l'objet de mises sur le marché aux États-Unis. Ils ont à leur crédit 84 % de rémissions complètes dans le cadre du traitement de certaines leucémies, chez des patients réfractaires à plusieurs lignes de traitements, et constituent une voie d'avenir reconnue par les scientifiques et les médecins.

En Franche-Comté, le contexte est particulière-

ment favorable à la recherche et au développement des thérapies CAR et plus généralement des traitements de thérapie innovante. Les travaux de Christophe Ferrand et Marina Deschamps bénéficient du soutien du Pr Olivier Adotevi, responsable de l'équipe Cancer et réponses immunitaires au sein du laboratoire, d'une collaboration étroite avec les praticiens du CHU, et

d'un environnement technologique, scientifique et industriel de premier plan, dont on peut citer à titre d'exemple la plateforme de préparation de médicaments de thérapie innovante dirigée par le Dr Fabienne Pouthier à l'EFS Bourgogne - Franche-Comté, l'une des rares plateformes académiques françaises répondant aux normes européennes pour la fabrication de tels médicaments.

➔ **Contacts:**

Christophe Ferrand / Marina Deschamps - Laboratoire Interactions hôte-greffon-tumeur & ingénierie cellulaire et génique
EFS / UFC / INSERM - Tél. +33 (0)3 81 61 56 15 - christophe.ferrand@efs.sante.fr / marina.deschamps@efs.sante.fr

//////////////////////////////////////

VERSO Optim simplifie l'organisation dans les entreprises

Qu'il s'agisse d'optimiser des tournées de livraison, d'organiser un travail de production ou de gérer des approvisionnements, la logistique est un maître-mot dans l'entreprise. Elle est aussi très étudiée et fait l'objet de quantité de publications scientifiques à travers le monde. La *spin-off* VERSO Optim entend occuper une position intermédiaire, entre recherche académique et réalité de terrain, se servir des connaissances de l'une pour fournir des outils d'exploitation à la seconde.

« Nous développons une véritable expertise en R&D. Notre connaissance des méthodes d'optimisation nous donne la possibilité de choisir les plus pertinentes et de les adapter aux besoins spécifiques d'une entreprise », explique Julien Coupey, spécialiste en mathématiques reconverti à l'informatique, et dirigeant de la société qu'il a créée avec Jean-Marc Nicod et Christophe Varnier, tous deux informaticiens, chercheurs à l'Institut FEMTO-ST et enseignants à l'ENSMM.

VERSO Optim propose des solutions logicielles adaptées et personnalisées, mises au point après identification d'un besoin avec les acteurs concernés. Une démarche que l'entreprise, notamment une PME, ne pourrait développer en propre, faute de moyens ou de compétences en interne. De la définition d'une problématique à sa modélisation, du prototypage d'une solution à sa finalisation, l'intervention des spécialistes de VERSO Optim permet d'entrer dans une réflexion large et d'envisager de nouvelles façons de s'organiser.

« Souvent, ces aspects logistiques incombent à un chef d'équipe, qui n'a pas le temps matériel d'explorer les différentes pistes possibles pour retenir la plus adaptée. Ce fonctionnement, tout à fait compréhensible, fait de plus dangereusement reposer la responsabilité de l'organisation sur les épaules d'une seule personne. » Les solutions informatiques élaborées par la *spin-off*

déchargent l'entreprise de ces soucis d'organisation, représentant une tâche fastidieuse et chronophage, en même temps qu'elles constituent, en étudiant différents choix, un outil précieux d'aide à la décision.

Créée fin 2017, VERSO Optim est hébergée dans les locaux de l'ENSMM après une année passée à l'Incubateur d'entreprises innovantes de Franche-Comté, qui l'a aidée à effectuer la transition entre recherche académique et développement commercial.



➔ **Contact:** Julien Coupey - VERSO Optim - Tél. +33 (0)6 88 09 40 01 - julien@verso-optim.com - <https://verso-optim.com>

L'échinococcose à la trace

À proximité de Pontarlier et de la Suisse, la petite commune des Alliés se trouve, à près de mille mètres d'altitude, en plein pays saugeais. Elle est également située au cœur de la zone d'endémie de l'échinococcose alvéolaire, et à ce titre représente depuis plusieurs années un champ d'investigation privilégié pour les chercheurs du laboratoire Chrono-environnement. Depuis mars 2017, grâce au programme MoniZoo, pour Monitoring des zoonoses, les chercheurs effectuent un prélèvement systématique et régulier des fèces d'animaux sauvages et domestiques sur tout le village. L'objectif ? Mieux connaître la prévalence d'*Echinococcus multilocularis* et repérer l'impact des saisons sur la prolifération et la diffusion du parasite, dans un secteur où près de 53 % des renards sont infestés, contre 14 à 20 % dans le nord de la France, et 7 à 17 % en région parisienne (Combes et al., 2012).

Ingénieure hospitalier de recherche rattachée laboratoire Chrono-environnement, Jenny Knapp



Relevé des fèces de renard, chien et chat, *Echinococcus multilocularis* positive,
Les Alliés, mars 2017

est responsable du projet MoniZoo. « L'analyse biologique moléculaire des fèces animales récoltées tous les deux mois donne les informations voulues pour déterminer l'identité de l'animal infesté, sa charge parasitaire et la localisation

des zones géographiques où la concentration de parasites est plus importante. » Les premiers résultats confirment ici l'hypothèse selon laquelle la présence du parasite serait moins forte après l'hiver, contrairement à ce qui est observé sur d'autres secteurs ; cette tendance demande à être vérifiée et expliquée sur les prochaines années. L'étude devrait par ailleurs se compléter d'une thèse comparative entre communes rurales et zones périurbaines, sur Pontarlier, Besançon et probablement Dijon, puisqu'on sait que les renards n'hésitent plus à s'approcher des lieux habités où ils trouvent facilement de quoi se nourrir, et que les chats et surtout les chiens sont aussi identifiés comme vecteurs du parasite.

Des conseils de prévention ? Donner régulièrement un vermifuge à ses animaux domestiques, idéalement toutes les cinq semaines, le parasite se développant en six semaines. « N'oublions pas que c'est la dissémination de vermifuges qui a permis d'éradiquer la rage... » Clôturer son potager et bien

se laver les mains après avoir jardiné ou touché la terre sont également de sages précautions à adopter. Rappelons que le parasite est insensible à l'eau de Javel, au vinaigre et autres désinfectants, qu'il ne craint pas la congélation et qu'il n'est détruit à la cuisson qu'à une température de 70°C.

Le projet MoniZoo est porté par le CNR Échinococcoses, le Centre national de référence créé à Besançon en 2011, dont les missions s'étendent depuis 2017 à l'échinococcose kystique. Mandaté par le ministère de la Santé, le CNR est placé sous la tutelle du CHU de

Besançon, de l'université de Bourgogne - Franche-Comté, du laboratoire Chrono-environnement, de l'Agence santé publique France ; il est également centre collaborateur pour l'Organisation mondiale de la santé.

➔ **Contact :** Jenny Knapp - Laboratoire Chrono-environnement - UFC/CNRS - Tél. +33 (0)3 70 63 21 06 - jknapp@univ-fcomte.fr

Vers latins et mouches du vinaigre

Remportant l'enthousiasme auprès du jury comme du public, les lauréats 2018 du concours Ma thèse en 180 secondes ont présenté des sujets de recherche bien peu ordinaires. À l'université de Neuchâtel, Pierre Siegenthaler s'attaque au sens caché de vers en latin composés au IV^e siècle, quand à UBFC, Karen Rihani étudie les mécanismes de l'olfaction et de la gustation chez les drosophiles, communément appelées mouches du vinaigre. Des thèmes plus proches de nous qu'il n'y paraît...



Énigmes latines

Et si notre habitude de nous poser des devinettes était influencée par un livre du IV^e siècle ? Peu connu par ailleurs, le poète Symposius apparaît alors comme un fondateur du genre. Chacune des cent devinettes recueillies dans ses *Aenigmata* est composée de trois vers, et autre particularité, indique d'emblée sa solution ! C'est cette bizarrerie qui a donné à Pierre Siegenthaler l'idée d'une énigme à décrypter au-delà de la seule devinette, et d'en faire le sujet de sa thèse en littérature latine et philologie classique. « Mon étude montre qu'il existe bien un second niveau de lecture : c'est un jeu sur le langage, sur les lettres. À mon avis Symposius était un grammairien. » Un jeu pour les lecteurs avertis, connaissant bien la langue latine, à une époque où celle-ci évolue sans cesse, perd son unité, et s'écrit sans séparation entre les mots ! Il est difficile d'en traduire le double-sens aujourd'hui, pourtant Pierre Siegenthaler a su convaincre son auditoire, et remarque d'ailleurs un regain d'intérêt pour les productions de l'Antiquité tardive (III^e au VI^e siècle), une période jusqu'ici souvent délaissée par les scientifiques. Reprises au Moyen Âge, les *Aenigmata* de Symposius ont donné naissance à un style qui a évolué au fil des siècles et perduré jusqu'à notre époque. Sans qu'on ait encore résolu tous leurs mystères...

Pierre Siegenthaler a remporté le Prix du jury et le Prix du public de *Ma thèse en 180 secondes* à l'université de Neuchâtel. Il concourra lors de la finale suisse le 7 juin à l'université de Fribourg.

Jouer les fines mouches

Comment une odeur captée par les antennes d'une drosophile chemine-t-elle jusqu'à son cerveau ? Ce sont des OBP qui transportent les molécules odorantes. Karen Rihani, doctorante en biologie à UBFC, étudie trois de ces protéines dans la thèse qu'elle prépare au Centre des sciences du goût et de l'alimentation de Dijon. « Ma recherche montre quelle protéine précisément est impliquée pour que la mouche perçoive le parfum de la violette. » Une odeur dont la drosophile est particulièrement friande, et qu'elle ne manque pas de suivre dès lors qu'elle la détecte. Karen Rihani a observé le comportement de mouches chez qui la protéine en question a été supprimée par manipulation génétique. « Ces mouches sont indifférentes à la violette, parce que probablement l'odeur ne parvient pas à leur cerveau. » *Drosophila melanogaster* est la plus commune des drosophiles. Si on la trouve plus qu'agaçante lorsqu'elle tourne autour des corbeilles de fruits trop mûrs l'été, il faut savoir qu'elle est érigée en modèle dans les laboratoires, notamment en recherche génétique, en partie pour les extrapolations à l'homme qu'on peut tirer de son observation. Visant plutôt la classe des insectes, l'étude de Karen Rihani devrait participer à une compréhension plus générale de leur système olfactif, dans l'objectif de lutter contre les nuisibles s'attaquant aux vignes et aux cultures.

Karen Rihani a remporté le Prix du jury, le Prix du public et le Prix des lycéens de *Ma thèse en 180 secondes* pour UBFC à Besançon. La finale nationale aura lieu à Toulouse le 13 juin.

➔ **Contacts :** Pierre Siegenthaler - Institut d'histoire - Université de Neuchâtel - Tél. +41 (0)32718 19 75 - pierre.siegenthaler@unine.ch
Karen Rihani - CSGA Dijon - CNRS / INRA / UBFC - Tél. +33 (0)7 86 05 69 15 - karen.rihani@inra.fr

La lumière sous les feux de la rampe

La lumière s'est fait une place dans le prestigieux calendrier de l'UNESCO : la journée internationale de la lumière sera désormais célébrée partout dans le monde le 16 mai. La première édition de cette journée, dédiée aux sciences, aux technologies, aux arts et à la culture en lien avec la lumière, sera marquée par une manifestation au siège de l'UNESCO à Paris, au cours de laquelle se croiseront des spécialistes de tous pays.

On ne présente plus John Dudley, enseignant en optique à l'université de Franche-Comté, responsable de l'équipe optoélectronique à l'Institut FEMTO-ST, médaille d'argent du CNRS, entre autres distinctions scientifiques. John Dudley, instigateur et porteur de l'année internationale de la lumière en 2015, souhaitait que ce grand événement planétaire continue de briller par des répliques annuelles. « On sait ce que les avancées scientifiques et technologiques doivent à la lumière, et les répercussions qu'elles ont sur les sociétés, dans des domaines aussi variés que la médecine ou les télécommunications. On connaît aussi l'importance des relations des arts et de la culture avec la lumière, cela depuis toujours. »

Lux méritait bien qu'une journée lui soit consacrée... La date du 16 mai a été soigneusement réfléchie. Les anniversaires de grands noms de la physique, comme Einstein ou Newton, pouvaient servir de

prétexte, ou encore un jour emblématique comme un équinoxe, lorsque la durée du jour égale celle de la nuit. « Mais les contraintes d'ordre pratique ramènent à une réalité plus prosaïque ! », sourit John Dudley, qui avec d'autres volontaires, a épiluché les calendriers scolaires dans les deux hémisphères et répertorié les fêtes nationales des cent quatre-vingt-quinze pays réunis sous la bannière de l'UNESCO... La mi-mai semblant être le meilleur compromis international, le 16 s'impose pour sa portée symbolique : ce jour-là, en 1960, avait lieu la première démonstration du principe de fonctionnement d'un laser dans un laboratoire américain.

La manifestation de lancement organisée à Paris verra la participation, entre autres personnalités, du Français Claude-Cohen Tannoudji et de l'Américain Kip Thorne, prix Nobel de physique respectivement en 1997 et 2017. De très nombreux événements sont par ailleurs programmés à travers le monde ; on peut rappeler que plus de treize mille activités avaient touché quelque cent millions de personnes à l'occasion de l'année internationale de la lumière... À Besançon, une journée de conférences et d'échanges interdisciplinaires en présence du physicien Alain Aspect, médaille d'or du CNRS, a ouvert le bal le 26 avril dernier... en avant-première !



➔ **Contact:** John Dudley - Département Optique - Institut FEMTO-ST - UFC / ENSMM / UTBM / CNRS
Tél. +33 (0)3 81 66 64 94 - john.dudley@univ-fcomte.fr

VIVO ! Entrez en nature



Les relations entre l'Homme et la Nature conditionnent la vie sur Terre, investissent les champs de la science, inspirent l'art... C'est pour célébrer cette union tour à tour harmonieuse, fructueuse, difficile, dangereuse, dans tous les cas indéfectible, que *VIVO !* entre sur la scène régionale durant toute l'année 2018. À l'image de la dualité qu'elle expose, *VIVO !* est animée par deux forces parfois contraires, parfois proches : la science et l'art. Son titre secondaire *Création scientifique et recherche artistique* souligne l'intention d'un clin d'œil. Balades, rencontres, conférences, expositions, spectacles, ateliers jalonnent l'année et le territoire de moments ludiques et pédagogiques pour découvrir comment se tissent les liens entre l'Homme et la Nature, et toucher du doigt les problématiques évoquées en filigrane : la technologie saura-t-elle aider l'Homme à se réconcilier avec la Nature et limiter les impacts de phénomènes tels que le réchauffement climatique ? Le modèle de la décroissance et le retour à la Nature sont-ils le salut de l'Homme?... D'expériences en étonnements, le public pourra suivre *VIVO !* lors de temps forts à Dijon, Besançon et Montbéliard, et d'actions satellites sur d'autres sites. Impulsée par la région Bourgogne - Franche-Comté, la manifestation est placée sous la responsabilité de la COMUE UBFC, qui en a confié l'organisation à l'université de Franche-Comté et à l'université de Bourgogne. Pour tout connaître du programme <https://vivo.ubfc.fr>

➔ **Contact :** Jeanne-Antide Léqué
Service Sciences, arts et culture - UFC
Tél. +33 (0)3 81 66 20 99 - sciences-arts-culture@univ-fcomte.fr

Learning center en projet à Besançon

Se plonger dans des livres, consulter des thèses, chercher des informations dans des bases de données, travailler au calme... on connaît les atouts de la bibliothèque. Le concept se réactualise encore grâce à l'évolution des technologies, de l'apprentissage, de la diffusion des savoirs et des nouvelles pratiques des publics.

La bibliothèque évolue peu à peu en *learning center*, et à Besançon, ce sont les locaux de la BU Sciences Sport Claude-Oytana qui vont se prêter à cette transformation. Les quelque 2700 m² disponibles seront réaménagés pour accueillir de nouvelles ambitions : apprendre autrement en favorisant le travail en groupe, la rencontre entre différents publics et la transition numérique. Espaces de *coworking* équipés d'outils collaboratifs, salles dédiées à l'innovation pédagogique, jardin de lecture et FabLab font ainsi partie des plans.



Projet partagé entre l'université de Franche-Comté et l'ENSM, le *learning center* dotera les BU du Service commun de documentation (SCD) d'équipements modernes et connectés, et sera mis en réseau avec des structures de la Communauté d'établissements Bourgogne - Franche-Comté et de la Communauté du savoir. Le *learning center* a aussi la vocation de s'ouvrir à la société : au-delà de son public traditionnel d'étudiants et de chercheurs, il s'adressera aux entrepreneurs et au grand public, dans le souci de décroisser les savoirs, de les mettre à la disposition de tous, et de les enrichir grâce à une collaboration fructueuse avec les acteurs socioéconomiques du territoire.

➔ **Contact :** Jeanne-Marie Jandeaux - SCD - UFC
Tél. +33 (0)3 81 66 20 51 - jeanne-marie.jandeaux@univ-fcomte.fr
<http://sed.univ-fcomte.fr/>

La Franche-Comté au 1/250 000^e

Caillouteux, de pente forte, acides, carbonatés, sur limons argileux... les caractéristiques topographiques, physicochimiques et hydriques des sols comtois sont désormais répertoriées sur une carte donnant une idée des potentialités du territoire au 1/250 000^e. Le but est de fournir un outil de connaissance et de gestion globale, de donner des indications générales sur les sols forestiers, les sols agricoles, les milieux naturels..., pour établir des repères avant de décider d'une étude plus précise sur le terrain. « Des cartes pédologiques existaient mais de manière partielle, et depuis quelques années seulement sur le secteur de Besançon », explique Éric Lucot, pédologue au laboratoire Chrono-environnement et enseignant dans cette discipline à l'université de Franche-Comté. Avec son collègue Jean-Claude Monnet, chargé d'étude à l'université de Franche-Comté, il s'est servi de ces cartes, des travaux de thèses, des rapports et autres documents disponibles, fait des investigations sur le terrain afin de pallier les – nombreux – déficits d'information, pour au total établir une carte sur quelque 850 000 hectares. Dans le cas de la Haute-Saône, 167 unités cartographiques ont ainsi été définies à partir de l'étude de 473 sols différents, ceux qui présentent le plus de points communs ayant été regroupés. La connaissance des caractéristiques des sols est importante, entre autres pour aider à gérer les effets du changement climatique, mesurer la sensibilité des terrains aux dégradations, déterminer les zones les plus favorables aux essences forestières et à la meilleure qualité du bois possible, ou aux cultures agricoles. Il s'agit bien là d'un travail de recherche en pédologie, que les outils de cartographie actuels ont permis de valoriser. La carte des sols de Franche-Comté est en cours de finalisation et sera disponible en 2019. Elle est le fruit d'une collaboration entre l'université de Franche-Comté, la Chambre régionale d'agriculture et l'INRA. Un ouvrage tiré de ces recherches permet d'ores et déjà de comprendre et d'exploiter l'apport des données cartographiques pour la gestion des sols. Richement documenté et illustré, agréable à consulter, il dépasse les frontières régionales et comporte des contributions concernant la France entière.



Ducommun C. Lucot E. (coordination de), *Les cartes et les données pédologiques, des outils au service des territoires*, Éditions Educagri, 2018.

➡ **Contact:** Éric Lucot - Laboratoire Chrono-environnement - UFC / CNRS - Tél. +33 (0)3 81 66 57 82 - eric.lucot@univ-fcomte.fr

« Droit pénal français et droit pénal suisse »

Les notions et les termes comme négligence, intention, auteur, complice... ont-ils le même sens et portent-ils les mêmes enjeux de part et d'autre de la frontière ? L'ouvrage coécrit par des spécialistes du droit pénal, là aussi de chaque côté du massif du Jura, propose de dresser un tableau comparatif des droits pénaux gouvernant respectivement en France et en Suisse. Béatrice Lapérou-Schneider est directrice du Centre de recherches juridiques de l'université de Franche-Comté, André Kuhn spécialiste de criminologie à l'université de Neuchâtel, et Yvan Jeanneret avocat, enseignant à l'université de

Genève. Ensemble, ils ont souhaité rédiger un livre pratique, très complet, explorant chaque facette des logiques pénales des deux pays, pour mettre en évidence leurs similitudes et leurs différences. Ainsi, les qualificatifs crime, délit ou contravention, utilisés pour définir la gravité d'une infraction, sont communs aux deux droits, mais les sanctions qui les répriment ne sont pas les mêmes : en France, le criminel est punissable d'une peine de détention ou de réclusion criminelle soit perpétuelle, soit à temps (trente, vingt ou quinze ans) ; en Suisse, il y a crime dès lors qu'une peine privative de liberté de plus de

trois ans est prononcée. En France, la complicité est punissable, sous certaines conditions, en matière contraventionnelle ; en Suisse, il n'est en aucun cas possible de retenir la complicité au titre de ce type d'infraction.

Cet ouvrage est un outil précieux pour mieux se comprendre entre pays voisins et en même temps si dissemblables, notamment pour régler les ques-

tions qui nécessairement se posent en territoire transfrontalier. Le lecteur néophyte souhaitant en connaître un peu plus sur le droit de son pays, tout comme l'homme de loi soucieux de trouver dans d'autres références des idées pour répondre à certaines interrogations liées à sa propre législation, trouveront dans ces pages de quoi alimenter leur savoir et leur réflexion.

Jeanneret Y., Kuhn A., Lapérou-Schneider B., *Droit pénal français et droit pénal suisse - Une mise en parallèle*. Éditions L'Harmattan, 2017.

////////////////////////////////////

« Le patrimoine industriel au prisme de nouveaux défis »

Au début des années 1990, le quartier d'activité industrielle de Belfort, plus que centenaire, à l'histoire marquée par des grands noms de l'industrie comme DMC, Bull ou Alstom, voit son existence menacée. Progressivement rachetés par SEMPAT, la société d'économie mixte patrimoniale du Territoire de Belfort (aujourd'hui TANDEM), les locaux désertés donnent naissance à partir de 2003 à un nouveau complexe industriel.

Techn'hom compte aujourd'hui, sur 110 hectares, 7500 salariés, 1000 étudiants de l'UTBM et de l'université de Franche-Comté, plus de 120 entreprises industrielles ou tertiaires, et développe une politique de services tant à destination de ses entreprises que de ses usagers.



Société Alsacienne des Constructions Mécaniques à Belfort (SACM).
Hall d'usinage des grosses dynamos. © AD Territoire de Belfort

Cette reconversion patrimoniale exemplaire nourrit les recherches menées depuis quinze ans à l'UTBM par l'équipe RECITS, désormais intégrée à l'Institut FEMTO-ST, et notamment par Marina Gasnier, spécialiste du patrimoine industriel.

Avec cette dernière parution, Marina Gasnier signe un ouvrage richement documenté et particulièrement novateur sur cette problématique. Loin de voir dans les bâtiments, usines et conceptions du passé des reliques à conserver en l'état, certes intactes mais comme pétrifiées au titre du devoir de mémoire, l'auteure invite à les intégrer à une dynamique vivante. Repensé, reconsidéré, le patrimoine industriel offre ses atouts pour devenir un point d'appui à la pérennisation ou à l'émergence d'activités économiques, possiblement doublées d'une dimension culturelle. La démarche prend aussi en considération les préoccupations actuelles de préservation de l'environnement, l'ensemble servant le développement global d'un territoire.

Ambitieuse, cette approche est cependant accessible, et plus encore : elle est un choix éclairé et innovant (ré)conciliant le passé et le présent dans une perspective d'avenir. Elle suppose et encourage l'adhésion de tous les acteurs du développement, non seulement les collectivités, mais aussi les entreprises. L'analyse de Marina Gasnier milite en ce sens, elle s'étaye de l'étude d'un corpus de sites industriels reconvertis ou en cours de reconversion, en France et ailleurs, d'enquêtes de terrain auprès d'entrepreneurs, d'élus et d'usagers, de recherches documentaires, et enfin de travaux d'ethnologues, d'historiens de l'art, de l'économie et du social, de géographes et d'architectes. Une vision globale et transverse, à l'image de la façon dont il convient d'envisager la reconversion du patrimoine industriel ancien.

Gasnier M., *Le patrimoine industriel au prisme de nouveaux défis*, Presses universitaires de Franche-Comté, 2018.

Lubrifiants innovants et au-dessus de tout soupçon

Lancée sur le marché industriel voilà plus d'un an, récemment déclinée pour répondre aux besoins de l'artisanat et des particuliers, la solution hydroalcoolique AFULudine et la start-up éponyme assoient peu à peu leur position. Alternative propre et écologique aux huiles chlorées habituellement utilisées comme lubrifiants dans l'industrie mécanique, AFULudine est une solution révolutionnaire mise au point par des chercheurs de l'université de Franche-Comté.

Sans huile ni additif toxique, élaborés à base d'eau, d'alcool et de molécules actives, les lubrifiants d'AFULudine sont efficaces, propres, sans résidus toxiques, ne nécessitent pas de nettoyage des pièces ni des outils... Trop beau pour être vrai ? Des démonstrations réalisées à l'échelle industrielle ont convaincu des entreprises, désormais clientes, dans les domaines de l'automobile, de l'aéronautique, de la pharmacie, de la connectique, des arts

de table... Même les grincements du tramway bisontin ont été réduits au silence après passage de la solution miracle sur ses rails, lors d'essais effectués en 2017 sur un tronçon particulièrement bruyant. Des certifications délivrées par des laboratoires indépendants ont attesté l'innocuité du produit, tant pour l'utilisateur que pour l'environnement.



Molécules en action

Le secret de cette solution hydroalcoolique révolutionnaire, remettant en cause les règles en vigueur dans la mécanique, affranchissant du cortège de désagréments accompagnant traditionnellement toute opération de lubrification dans une chaîne de fabrication industrielle, se trouve dans ses molécules. Celles-ci modifient les propriétés tribologiques et anticorrosion

d'un matériau ou d'un objet métalliques, en se greffant sur leur surface. Ce n'est pas de la magie mais de la chimie : une formule mise au point par des spécialistes du traitement de surface et de chimie organique à l'Institut UTINAM, Fabrice Lallemand et Jean-Marie Melot, et de mécanique et tribologie à l'Institut FEMTO-ST, Xavier Roizard, en collaboration avec la société APERAM, *spin-off* du groupe ARCELOR-MITTAL. Le procédé est à l'origine de la création de la *start-up* AFULudine en septembre 2016, qui assure son développement commercial, et compte aujourd'hui sept salariés. Actuellement hébergée dans l'antenne bisontine de l'IUT, dont elle a pu disposer des installations pour démarrer son activité, elle prévoit d'établir ses propres locaux et unités de production à Dole (39) pour la fin d'année. Président de la jeune société, Fabrice Lallemand souligne « le soutien exemplaire du Grand Dole, de la Région et de BPI France, qui nous ont permis de faire passer notre innovation au stade de produit commercial. »

La solution AFULudine a été mise au point pour l'industrie, et adapte ses performances aux besoins de ses clients selon une échelle notée de 2 à 15, ce dernier niveau représentant une alternative probante aux huiles entières chlorées classiques.

Elle se décline dans des gammes à destination des artisans (AFUPro) et des particuliers (Sween), qui font l'objet de négociations, pour leur diffusion, avec les circuits de distribution spécialisés. AFULudine développe son réseau de clientèle sur toute la France, et vient d'entrer sur les marchés industriels tchèque et brésilien.

Médaille du Prix Pierre Potier en 2017, lauréate du Trophée des entreprises de Franche-Comté, lauréate du concours national ILab, pour ne citer que les plus récentes, la *start-up* est encouragée depuis sa création par de nombreuses distinctions aux plans régional et national.

➡ **Contact:** Fabrice Lallemand - AFULudine - Tél. +33 (0)3 81 66 63 55 - contact@afuludine.com - www.afuludine.com

Un FabLab sur les routes de l'Arc jurassien

L'ouverture vers l'extérieur est l'un des traits de caractère du concept de FabLab. C'est pour répondre à cette vocation que va s'élancer le premier FabLab mobile de l'Arc jurassien. Si l'itinéraire reste à tracer, les objectifs de chaque étape sont très clairs et le véhicule se prépare...

N'allez pas imaginer une carriole bringuebalante, des outils accrochés à ses flancs, cahotant sur les chemins. Le FabLab mobile, c'est du sérieux. Une grande remorque podium, alimentée en électricité, répondant aux normes de sécurité, et mettant en scène des équipements de haute technologie. L'objectif ? Aller au-devant des publics susceptibles d'être intéressés par les possibilités offertes par un FabLab, faire découvrir, convaincre, et diffuser ce nouveau *credo* : penser l'innovation autrement. En étant prescripteur, acteur, conseiller, en apportant sa problématique comme ses compétences, en ajoutant au concept *Do it yourself* la notion de partage et de construction en commun.

Les FabLabs connaissent un véritable engouement en France, en Suisse et ailleurs, et l'Arc jurassien n'échappe pas à la règle. Aidés dans leur démarche par la Communauté du savoir, les structures de l'Arc se sont organisées en réseau voilà bientôt deux ans. Sous le nom Jurassic Labs, elles mettent en commun leurs compétences, se complètent, mutualisent leurs équipements, relaient les besoins et les initiatives. Et impulsent des projets comme celui de FabLab mobile, qui devrait se concrétiser avant la fin d'année. Ingénieur de recherche à l'UTBM, qui porte le projet au nom du réseau, Olivier Lamotte explique que la cible est large, depuis les entreprises qui voudraient voir entrer le FabLab dans leurs murs de façon ponctuelle pour des raisons de facilité, jusqu'à un public scolaire. « L'idée est ici d'impliquer les élèves, et pas



Robot Lego® Mindstorms - OpenLab de l'UTBM

seulement de présenter les ressources du FabLab. » Ces élèves seront au contact de machines qu'ils vont pour la plupart découvrir : imprimantes 3D, machines de découpe laser, d'impression et découpe de *stickers*, de thermoformage plastique, scanners 3D, fraiseuses et tours à commande numérique, mini-robots pour la gravure et la découpe sur bois, brodeuses numériques... Pour les préparer à cette rencontre avec la technologie, l'équipe prépare à leur intention des kits pédagogiques et de sensibilisation, pour travailler en amont. *Makers* d'un jour, ils pourront ainsi participer à la conception et à la réalisation d'un objet. Placé sous l'égide de la Communauté du savoir et de Jurassic Labs, le FabLab mobile prend en considération les différences entre la France et la Suisse pour créer un outil transfrontalier.

Dans les pas de Jurassic Labs

Tout est parti d'une table ronde organisée par la Communauté du savoir en 2014 : l'idée de constituer un réseau de FabLabs émerge puis prend rapidement forme. Coordinateur recherche appliquée & développement à la Haute Ecole Arc et fondateur du FabLab de Neuchâtel, Jérôme Mizeret est un artisan de cette réalisation. « Aujourd'hui le réseau représente une vingtaine de FabLabs et institutions de formation. Notre but est d'intensifier et d'enrichir les apports réciproques de ces deux types de structures, qui sont fort différentes. » Porté par la Communauté du savoir, Jurassic Labs réunit des entités universitaires ou associatives de Neuchâtel, Renens, Yverdon-les-Bains, La Chaux-de-Fonds, Ins, Nyon, Besançon, Champagnole et Biarne, qui viennent d'être rejointes par le tout récent OpenLab de l'UTBM.

➔ **Contacts :** Jérôme Mizeret - Haute Ecole Arc - Tél. +41 (0)32 930 11 15 - jerome.mizeret@he-arc.ch
Olivier Lamotte - UTBM - Tél. +33 (0)3 84 58 33 44 - olivier.lamotte@utbm.fr

Mai 68 sans frontières

Sans commune mesure avec les événements parisiens, Mai 68 a cependant secoué les murs de l'université en Suisse. À Neuchâtel, les discussions relaient les manifestations pour bousculer l'ordre établi et repenser l'enseignement.

Parti de France, le mouvement étudiant de mai 1968 gagne la Belgique, l'Allemagne, l'Espagne, l'Italie... La Suisse est également prise dans le tourbillon de ses idées. À Neuchâtel, l'adhésion au mouvement est immédiate. Manifestations et *sittings* s'organisent pour exprimer la solidarité des étudiants avec leurs camarades de toute l'Europe, et pour faire entendre leurs propres revendications. «Cependant, la tournure des événements ne prendra pas une dimension aussi dramatique qu'en France», raconte Laurent Tissot, enseignant et chercheur à l'université de Neuchâtel, qui apporte ici son point de vue d'historien¹. Neuchâtel n'a connu ni émeutes, ni interventions musclées de la police ou de l'armée. «Le Mai 68 neuchâtelois n'est nullement comparable à celui de Paris ou d'autres grandes villes européennes», confirme Dominique Chloé Baumann dans son ouvrage paru à l'occasion du centième anniversaire de l'université de Neuchâtel², alors qu'elle y occupe un poste de collaboratrice scientifique en sciences humaines. Moins nombreuses, moins violentes qu'ailleurs,



laissant de la place à la discussion, les manifestations n'en expriment pas moins de fermes revendications en faveur d'une profonde transformation de l'organisation de l'université, du contenu et de ses méthodes d'enseignement. Se défendant d'être une «bande de trublions cherchant le désordre», comme les qualifie le recteur de l'époque, les étudiants veulent faire valoir leur droit à la participation dans les affaires de l'*alma mater*. «Ici comme ailleurs, la hiérarchie universitaire est ébranlée, les rapports entre enseignants et étudiants changent, et vont évoluer vers plus d'écoute», témoigne Laurent Tissot.

Tout changer, le mot d'ordre concerne avant tout l'université

L'université en Suisse connaîtra des réformes majeures. Cependant le mouvement ne touche que très peu le monde ouvrier. «La conjoncture en Suisse à cette époque est très favorable. Seules des manifestations ponctuelles sont organisées dans quelques entreprises en difficulté.»

On le sait, Mai 68 est reçu de façon très contrastée ; il peut être lu de nombreuses manières, autant qu'il a connu d'interprétations. Laurent Tissot pour sa part retient combien, très vite, la crise de 1973 oppose sa dure réalité économique aux idéaux de 1968. «Les valeurs véhiculées par le mouvement n'ont pas pu se transmettre et perdurer à l'intérieur de l'Université. La conjoncture économique, la globalisation, la mondialisation lui imposent de s'adapter, de

proposer des formations et d'adopter des positions qui vont à l'encontre des valeurs de Mai 68.»

Cinquante ans après les événements, Laurent Tissot délaisse un instant sa casquette d'historien pour jeter un œil vers le futur, se demandant si, dans un autre genre, «les transformations apportées par le numérique dans notre société n'auront pas des conséquences plus marquées que Mai 68 sur l'Université et les enseignements qu'elle dispense». Attention, une révolution peut en cacher une autre...

¹ Laurent Tissot participera au café scientifique *Mai 68 vu des pavés neuchâtelois*, organisé le 16 mai à Neuchâtel.

² Baumann D., *L'université de Neuchâtel, 1909-2009. Former, chercher, transmettre, innover*. Éditions Alphil, 2009.

The background of the page is decorated with abstract, geometric patterns made of multiple parallel red lines. These lines form various shapes, including zig-zags, chevrons, and angular blocks, creating a dynamic and modern visual texture. The patterns are scattered across the white background, framing the central text area.

Fabriquer par ajout de matière

L'usinage et les nombreux procédés qui s'y rapportent sont depuis toujours intimement liés à l'histoire de l'industrie. Aujourd'hui, les technologies de fabrication additive, auxquelles s'ajoutent celles du traitement de surfaces, représentent des alternatives pour la réalisation de prototypes ou de petites séries, permettent d'envisager la création de pièces complexes, et se combinent aux méthodes traditionnelles dans des équipements hybrides...

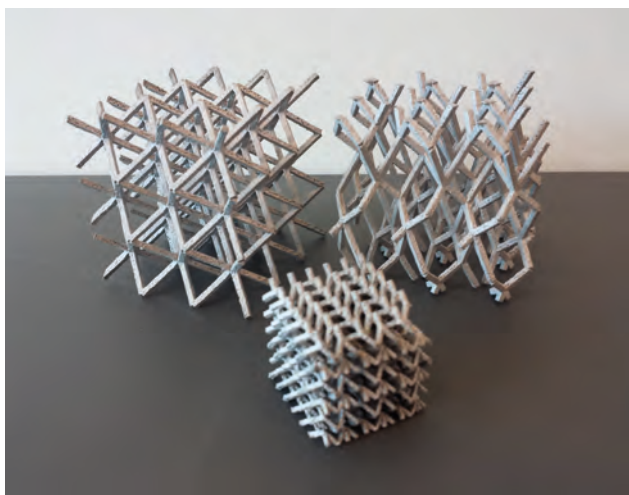
Aujourd'hui on est capable de fabriquer directement, à partir d'un simple modèle CAO, des maisons, des pièces métalliques et des organes humains par ajout de matière, des opérations effectuées sans outillage. Une révolution dans la façon de concevoir et d'exécuter, qui possède ses atouts et présente ses limites, qui ne saurait se substituer aux méthodes traditionnelles mais ouvre de nouvelles perspectives. Souvent réduite à l'appellation impression 3D qui n'est en réalité qu'un de ses procédés, la fabrication additive ne

cesse de se développer depuis la fin des années 1980 au rythme de découvertes et de mises au point technologiques. L'impression 3D est le résultat d'un dépôt de matière par l'intermédiaire d'une buse de projection, quand d'autres méthodes ont recours à la fusion ou au frittage de poudre, au dépôt de fil fondu, à la polymérisation, au collage de films ou encore à la fonderie. Toutes ces méthodes ont pour point commun une fabrication par empilement de couches successives de matière, métal, plastique ou tissus biologiques.

Croissance métallique

Sur la plateforme de l'ex-LERMPS à Sevenans, désormais intégré à l'ICB de Dijon, les équipements et les compétences donnent la capacité de maîtriser tous les maillons de la chaîne du procédé de fusion laser sur lit de poudre métallique, depuis l'atomisation des poudres jusqu'à la réalisation d'un prototype industriel. Le principe ? Une pièce virtuelle est générée *via* un outil CAO. Cette maquette numérique est sectionnée en couches parallèles (*slices*) puis une stratégie de remplissage est appliquée selon un fichier matière, dans le but d'obtenir une pièce réelle aux cotes définies lors de la conception. Sur un plateau support, une fine couche de poudre est ensuite étalée puis fondue sélectivement grâce au passage d'un faisceau laser. Le plateau support descend alors de l'épaisseur d'une strate ; une nouvelle couche de poudre est étalée et le processus recommence jusqu'à l'obtention d'une ou plusieurs pièces définitives. La tour d'atomisation dont dispose la plateforme préindustrielle permet de gérer des formules spécifiques, voire inédites, pour la création d'alliages adaptés aux besoins de la recherche fondamentale comme de la R&D. « Le projet AMANDE, actuellement mené au laboratoire, concerne le développement d'alliages légers pour la fabrication additive de pièces à haute valeur ajoutée », explique Lucas Dembinski, enseignant à l'UTBM et chercheur à l'ICB.

Les possibilités apportées par la fabrication additive entrent peu à peu dans la culture industrielle, et les entrepreneurs sont aujourd'hui prêts à envisager la conception d'une manière spécifique à ces nouveaux procédés. La composition des poudres se diversifie et les alliages deviennent plus techniques. L'évolution des équipements continue à



Réalisations par microfusion laser sur lit de poudre à l'ICB-LERMPS

ouvrir de nouvelles voies, en même temps qu'elle pointe les limites de la technologie. La puissance des lasers est passée de 100 à 200, puis à 400 W en quelques années, aujourd'hui à 1 kW. Cela permet, entre autres avantages, de réaliser des pièces de plus en plus grandes. Depuis peu, des machines hybrides sont présentes sur le marché et combinent fabrication additive et usinage.

Les gains techniques s'accompagnent de nouvelles difficultés, comme l'organisation de plusieurs faisceaux lasers, qui peuvent fonctionner simultanément pour gagner en temps de production et en dimension de réalisation. L'hybridation des techniques dans un même équipement suppose une étanchéité parfaite de la machine, dont l'atmosphère doit être garantie neutre pour éviter l'oxydation des pièces. Le stockage et la manipulation de poudres aux compositions plus élaborées, mais plus dangereuses, posent question en termes d'hygiène et de sécurité. Un autre défi posé par la fabrication additive de pièces métalliques reste la rugosité des surfaces, encore parfois trop élevée par rapport à l'application finale.

Enchaînement de procédés

Jouer sur la composition des poudres peut aider à obtenir un meilleur état de surface. « Cependant une opération de finition est dans tous les cas nécessaire, elle est plus ou moins exigeante selon la destination de la pièce fabriquée ; les procédés habituellement utilisés nécessitent toujours des ajustements, car une pièce obtenue par fabrication additive ne réagit pas tout à fait de la même manière qu'une pièce usinée », précise Lucas Dembinski. Les polissages chimique et électrochimique, les revêtements par voie humide, spécialités de l'Institut UTINAM, et les revêtements par projection thermique, réalisés à l'ICB-LERMPS, figurent parmi les techniques les plus usuelles pour lisser les surfaces.

L'Institut UTINAM est impliqué dans un projet de recherche avec l'IRT M2P (Matériaux métallurgie et procédés) et de nombreuses entreprises, notamment du secteur aéronautique, avec pour but le post-traitement de pièces de fabrication additive. Le chercheur Francis Touyeras, par ailleurs enseignant en chimie à l'IUT de Besançon-Vesoul, explique qu'« il n'existe pas de solution universelle, tout dépend de la nature des matériaux et du résultat souhaité. Dans ce projet, nous travaillons entre autres sur un alliage de nickel et de chrome Inconel®, et sur du titane. Nous comparons différentes techniques permettant de diminuer la rugosité de surface, telles que l'électropolissage et le polissage chimique. » Lors de l'électropolissage, la pièce est reliée au pôle positif (anode) d'un générateur et plongée dans un électrolyte acide. Sous l'effet du courant, la surface de la pièce est dissoute, conduisant à une finition lisse et brillante. Le polissage chimique permet d'obtenir une finition similaire, sans utiliser de courant électrique, par le biais de réactions d'oxydo-réduction de la surface du matériau. Le principal attrait de ce procédé est le parachèvement de pièces complexes, comportant des corps creux perturbant le champ électrique.

Dans la thèse qu'elle vient de soutenir dans le cadre du projet MOMEQA, pour l'innovation dans l'industrie horlogère en Franche-Comté, Chloé Rotty a



Chaîne de traitement de surfaces

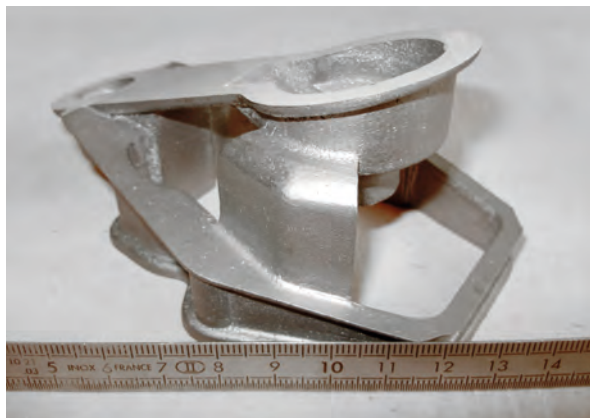


Carrure de montre en acier inoxydable 316L après électropolissage

validé des scénarios d'optimisation de l'électropolissage sur les laitons et sur l'acier inoxydable 316L, pour l'obtention de surfaces brillantes. « Un autre aspect de la recherche a consisté à comparer le comportement d'un acier obtenu par fonderie et par fabrication additive, afin de mettre en évidence l'influence du procédé de fabrication sur l'aptitude du matériau à l'électropolissage. » Il s'agit d'adapter la nature des bains électrolytiques, la tension du courant électrique, de travailler sur l'agitation du bain notamment par ultrasons..., pour contrôler l'érosion et obtenir la meilleure qualité de surface possible. « Les recherches sur l'électropolissage, inventé dans les années 1930, sont aujourd'hui remises au goût du jour pour les besoins de la fabrication additive », souligne la jeune chercheuse.

Objets déposés

Différentes méthodes sont utilisées pour déposer un revêtement sur des objets, par voie humide ou voie sèche. Certaines d'entre elles dépassent le cadre du traitement de surface pour investir le domaine de la fabrication additive. Dans un projet récurrent mené avec ArianeGroup depuis le début des années 1990, un procédé de projection thermique VPS (*Vacuum Plasma Spraying*) a permis de réaliser des pièces multicouche à base de cuivre, intégrant des canaux de refroidissement, pour la fabrication d'un prototype de chambre de combustion de moteur de fusée HM-7 (Ariane 5). La maquette, produite à l'échelle 1 en 2005, est toujours utilisée à titre de référence. Plus récentes, et toujours réalisées par VPS, deux nouvelles chambres de combustion ont été testées avec succès sur banc d'essai en Allemagne en 2016, dans le cadre du projet BOREAS, du nom de la plateforme de démonstration technologique financée par le CNES. « Recourir à ce procédé de fabrication, alliant robustesse des pièces et coût avantageux, pourrait répondre au double souhait de récupérer les chambres de combustion et de réduire le coût du lanceur, explique Christophe Verdy, ingénieur de recherche expert en projection thermique, et responsable de ce projet à l'ICB-LERMPS. Pour répondre à l'objectif, réduire d'un facteur 10 le coût de ces chambres de combustion, la piste de la projection à froid va elle aussi être suivie.

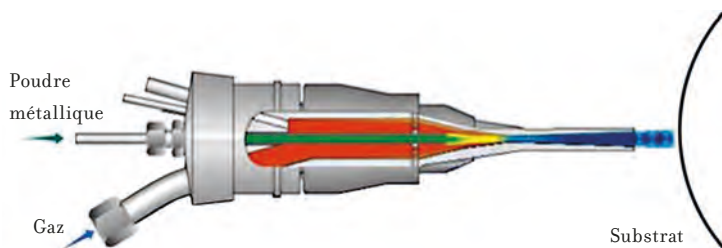


Pièce réalisée par microfusion laser sur lit de poudre à l'ICB LERMPS

Champs magnétiques intenses

La notion de froid du procédé *Cold Spray* peut sembler relative puisque la température affichée dans la torche de projection peut atteindre 650°C. Mais pour comparaison, la projection thermique annonce, elle, des températures de l'ordre de 10 à 15 000°C... Dans la projection à froid, les particules propulsées par un gaz à très grande vitesse, restées solides, vont se coller sur un substrat et se déforment lors de l'impact. « Le procédé permet de conserver intactes les propriétés électriques et thermiques du cuivre, même si on améliore ses propriétés mécaniques », précise Christophe Verdy. Un projet développé avec le LNCMI (Laboratoire national des champs magnétiques intenses) de Grenoble concerne la fabrication d'aimants polyhélice en alliage de cuivre. Quatorze hélices élaborées par le procédé *Cold Spray* composent le système

aimant. De forme cylindrique, elles s'ajustent les unes dans les autres à la manière de boîtes gigognes. Chacune crée un champ magnétique qui s'additionne aux autres au centre de cette construction. Là encore, la chaîne de fabrication est maîtrisée dans son intégralité, de l'atomisation des poudres métalliques à leur projection par hélium dans une enceinte sous atmosphère contrôlée, réalisée par Christophe Verdy. Les différentes hélices représentent une masse de 400 kg d'alliage cuivre, nécessitant quelque 650 kg de matière au départ de la projection ; le diamètre global du système est de 400 mm, pour une hauteur équivalente. « Le champ magnétique continu obtenu atteint un record de 37 teslas dans une cavité de 35 mm de diamètre ; le système fabriqué par *Cold Spray* présente une conductivité électrique équivalente à celle du matériau forgé, et se montre supérieur en termes de limite élastique », raconte l'ingénieur. La création de champs magnétiques intenses est utile à des applications spatiales, pour protéger des composants soumis aux rayonnements solaires dès lors qu'ils ne sont plus sous influence de l'atmosphère terrestre.

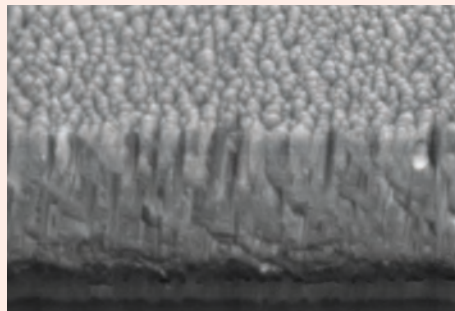


La température de la torche de projection du procédé *Cold Spray* peut atteindre 650°C

La bonne formule pour des dents nickel

Aujourd'hui réalisés à base d'alliages de titane, les implants dentaires font l'objet de recherches pour de nouvelles compositions. Le programme Interreg OXYTAN, signé en juillet 2017 pour deux ans, prévoit de mettre au point et de tester des revêtements biocompatibles et limitant la diffusion d'ions potentiellement toxiques depuis les substrats qu'ils recouvrent. La Haute Ecole Arc et l'UTBM sont chacune engagée dans ce projet aux côtés d'une entreprise, Positive Coating pour la Suisse, Dephis pour la France, dans une saine compétition mettant en jeu deux matériaux, le tantale et le niobium, sous l'arbitrage des spécialistes en biologie de l'université de Genève. « Ces deux éléments métalliques sont très proches chimiquement, mais le tantale est plus coûteux que le niobium, raconte Oksana Banakh, responsable du groupe Ingénierie de surfaces à la Haute Ecole Arc, et responsable du projet côté Suisse. Il est intéressant de tester et de comparer les performances des deux. »

L'état de surface du dépôt ne doit être ni trop lisse, ni trop rugueux, pour favoriser au maximum la prolifération des cellules ostéoblastes, provenant de l'os de la mâchoire, à la surface de l'implant, et assurer ainsi sa fixation. Le dépôt doit par ailleurs être stable dans le temps. La recherche s'oriente donc dans deux directions : la composition du revêtement et le procédé de fabrication du dépôt. Oxygène, azote, mêlé pour l'un à du tantale, pour l'autre à du niobium, les oxynitrures obtenus font l'objet de compositions différentes avant d'être soit appliqués en monocouche, soit superposés selon des périodes de dix à trente nanomètres, pour un total d'une vingtaine de couches. Les procédés utilisés sont le dépôt physique en phase vapeur (PVD) et l'un de ses dérivés, la technologie HiPIMS, ou pulvérisation par impulsions de forte puissance. « OXYTAN sert aussi de banc d'essai pour cette technologie récente, souligne Alain Billard, responsable du projet pour l'UTBM. Il s'agit ici de projeter des ions et non des atomes, ce qui facilite la gestion de l'énergie et par conséquent la densité du revêtement à réaliser. » Joël Matthey, adjoint scientifique à la Haute Ecole Arc, précise la puissance de ce procédé. « L'intensité électrique produite par le générateur HiPIMS peut atteindre 1 kW/cm^2 , quand celle de la PVD classique s'élève à quelques dizaines de W/cm^2 ! » Pour l'instant l'avancée des recherches ne permet pas encore de savoir si le procédé HiPIMS est adapté ou non à cette application dans le domaine de la biologie. Il est également prématuré de pouvoir déterminer dans quelle proportion l'optimisation de l'état de surface et celle de la composition chimique entreront en jeu pour la réalisation du revêtement biocompatible. Ce projet à vocation industrielle devrait rendre ses conclusions en fin d'année.



Vue en coupe d'un revêtement d'oxynitrure de tantale

Polymères à façon

L'aéronautique, l'énergie, le biomédical, l'outillage, l'art... tous ces secteurs sont intéressés par les possibilités offertes par la fabrication additive, dont les polymères sont la deuxième grande famille de matériaux de prédilection.

Au département Mécanique appliquée de l'Institut FEMTO-ST, les installations techniques permettent de travailler à partir de nombreux procédés pour les besoins de la recherche, notamment en lien avec les entreprises. La technologie de dépôt de

fil est à l'origine de la mise au point de polymères à mémoire de forme et de matériaux intelligents. Le comportement du matériau, par exemple ses capacités d'absorption vibratoire, fait l'objet de caractérisation pour ajuster la trajectoire des fils polymères et ainsi optimiser la structuration du matériau selon le but recherché.

Ce procédé, d'un coût avantageux, est relayé par la photopolymérisation lorsqu'il s'agit d'obtenir une « bonne matière », une résistance mécanique

optimale du matériau. Basée sur le principe de la stéréolithographie, elle concerne des résines sensibles aux ultraviolets. Sous l'action de la lumière, la matière se solidifie selon des contours imposés par une image projetée à sa surface, couche par couche, jusqu'à l'obtention de la forme désirée.

« Cette technique et le matériel dont nous disposons nous permettent d'atteindre jusqu'à une résolution de 26 μm dans le plan, pour des pièces de 30 cm de haut : chacun des pixels disposés côte à côte a une dimension dix fois inférieure à celle d'un cheveu », explique Sébastien Thibaud, spécialiste de microfabrication mécanique et enseignant à l'université de Franche-Comté.

« L'homogénéité de la matière et la possibilité d'utiliser toutes les résines du marché sont des grands atouts de ce procédé, qui permet la réalisation d'un très grand nombre de composants aux propriétés très diverses », ajoute Romain Jamault, également

spécialiste de microfabrication, et enseignant à l'ENSMM.

Une technique différente, mais partant du même principe de stéréolithographie, donne les moyens de structurer des polymères en 3D jusqu'à l'échelle submicronique : il s'agit de la lithographie par faisceaux de photons croisés, ou absorption non linéaire à deux photons.

« À l'endroit où se croisent ces faisceaux, fournis par un laser femtoseconde en lumière infrarouge proche, l'intensité lumineuse polymérise de la résine liquide déposée sur une plateforme, qui se déplace selon trois axes pour dessiner la pièce à fabriquer », explique Laurent Robert, responsable photolithographie à la centrale technologique MIMETO.

La salle blanche de la centrale devrait cette année être équipée d'une nouvelle machine utilisant ce procédé, dédiée à la structuration 3D de polymères.

Visualiser les structures internes à très petite échelle

Quel meilleur moyen pour connaître la structure d'un matériau ou d'un objet que lui faire passer une radio ? C'est en définitive le principe du micro-nanotomographe installé depuis un an sur la plateforme de recherche MIFHySTO à Besançon. Deux générateurs spécifiques délivrant des rayons X permettent de scruter l'intérieur de n'importe quelle réalisation ou matière à une résolution en volume, exprimée en voxels, de $3\mu\text{m}$ pour le générateur micro (150 keV) et 400 nm pour le générateur nano (160 keV). Les vides d'air dans une figurine en polymère, les fissures dans une pièce métallique, l'inspection d'assemblages complexes et multipièce, les défauts à l'intérieur d'une fibre de lin ou encore la superposition des feuilles dans un objet en papier compressé apparaissent de façon très nette.

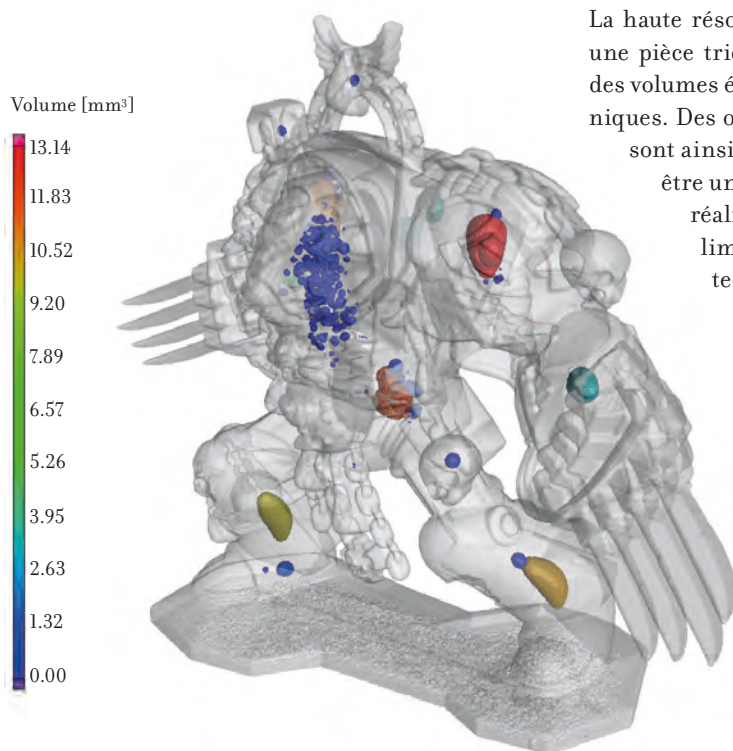


Rendu 3D de la tomographie d'une mouche



Coupe tomographique d'un œuf surprise Kinder, révélant aussi bien les différents matériaux que le vide à l'intérieur de l'œuf

La tomographie est essentielle pour pouvoir rectifier un procédé de fabrication en fonction des anomalies relevées. L'équipement, ici dédié aux micro- et nanocaractérisations, est unique en Bourgogne - Franche-Comté, et représente un investissement de l'ordre de quatre cent mille euros, entièrement financé par la Région.



Détermination du volume des vides
dans une figurine obtenue par injection plastique

La haute résolution du faisceau permet de définir une pièce tridimensionnelle, point par point, par des volumes élémentaires, appelés voxels submicroscopiques. Des objets de quelques micromètres cubes sont ainsi réalisables. Mais cette petitesse peut être une limite à la taille maximale de l'objet réalisable : en général les temps d'écriture limitent la taille au millimètre. C'est une technologie de microprototypage rapide à l'échelle du micromètre.

Polymères, métaux, matériaux composites sont très nombreux à se plier aux techniques de fabrication additive, tout aussi nombreuses et proposant un éventail de possibilités incroyable à toutes les échelles de dimensions. Particulièrement adaptées pour le prototypage, la fabrication de pièces uniques ou de petites séries, la fabrication additive décline et met à disposition certains de ses procédés, notamment l'impression 3D, dans les FabLabs... Un rendez-vous à ne pas manquer.

➔ **Contacts :**

ICB / LERMPS - UB / UTBM / CNRS
Lucas Dembinski / Christophe Verdy
Tél. +33 (0)3 84 58 32 06 / 31 08
lucas.dembinski@utbm.fr / christophe.verdy@utbm.fr

ENSMM
Romain Jamault
Tél. +33 (0)3 81 40 27 30
romain.jamault@ens2m.fr

Institut UTINAM - UFC / CNRS
Francis Touyeras / Chloé Rotty
Tél. +33 (0)3 81 66 68 62
francis.touyeras@univ-fcomte.fr
chloe.rotty@edu.univ-fcomte.fr

Université de Neuchâtel
LTF - Institut de physique
Christoph Affolderbach
Tél. +41 (0) 32 718 34 56
christoph.affolderbach@unine.ch

Institut FEMTO-ST - UFC / ENSMM / UTBM / CNRS
Département MN2S
Alain Billard
Tél. +33 (0)3 84 58 37 22 - alain.billard@utbm.fr
Laurent Robert
Tél. +33 (0)3 81 66 66 47 - laurent.robert@femto-st.fr

Haute Ecole Arc Ingénierie
Oksana Banakh / Joël Matthey
Tél. +41 (0) 32 930 25 20 / 13 66
oksana.banakh@he-arc.ch
joel.matthey@he-arc.ch

Département Mécanique appliquée
Sébastien Thibaud
Tél. +33 (0)3 81 66 66 11
sebastien.thibaud@univ-fcomte.fr

EN DIRECT

Direction recherche et valorisation - Université de Franche-Comté
Tél. +33 (0)3 81 66 20 95 / 20 88 - Journal-EnDirect@univ-fcomte.fr
<http://endirect.univ-fcomte.fr>

Directeur de la publication: Jacques Bahi. Rédaction: Catherine Tondu. Composition: Gaelle Ruf.
Conception graphique: Gwladys Darlot. Impression: Simon graphic, Ornans / Imprim'vert.

en direct est édité par :

Université de Franche-Comté

1, rue Claude Goudimel - 25030 Besançon cedex
Président: Jacques Bahi - Tél. +33 (0)3 81 66 50 03

en association avec :

Université de technologie de Belfort-Montbéliard

90010 Belfort cedex
Directeur: Ghislain Montavon - Tél. +33 (0)3 84 58 30 00

École nationale supérieure de mécanique et des microtechniques

Chemin de l'Épitaphe - 25030 Besançon cedex
Directeur: Bernard Cretin - Tél. +33 (0)3 81 40 27 00

Université de Neuchâtel

Avenue du 1^{er} mars 26 - CH - 2000 Neuchâtel
Recteur: Kilian Stoffel - Tél. +41 (0)32 718 10 20

Haute Ecole Arc

Espace de l'Europe 11 - CH - 2000 Neuchâtel
Directrice: Brigitte Bachelard - Tél. +41 (0)32 930 11 11

Établissement français du sang Bourgogne - Franche-Comté

1, boulevard A. Fleming - 25020 Besançon cedex
Directeur: Pascal Morel - Tél. +33 (0)3 81 61 56 15

Avec le soutien du Conseil régional de Bourgogne - Franche-Comté et de l'Association arcjurassien.ch.
ISSN: 0987-254X. Dépôt légal : à parution. Commission paritaire de presse : 2262 ADEP
6 n° par an. Pour s'abonner gratuitement, formulaire en ligne sur <http://endirect.univ-fcomte.fr>